

PENGARUH IRADIASI SINAR- γ PADA BAHAN KONDUKTOR IONIK PADAT $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ ($x = 0,1$ DAN $x = 0,3$)

P. Purwanto

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

PENGARUH IRADIASI SINAR- γ PADA BAHAN KONDUKTOR IONIK PADAT $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ ($x = 0,1$ dan $x = 0,3$). Pengaruh radiasi sinar- γ terhadap bahan konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ telah dipelajari. Bahan konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ ($x = 0,1$ dan $x = 0,3$) telah dapat dibuat dengan mencampurkan bahan CuI dan Na_3PO_4 dengan perbandingan fraksi berat tertentu, ditekan pada tekanan $48,26 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ menjadi pelet dengan diameter $1,5 \times 10^{-2} \text{ m}$. Bahan konduktor ionik padat tersebut di radiasi sinar- γ dengan dosis 5 kGy hingga 30 kGy. Analisis puncak-puncak difraksi sinar-X pada bahan konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ menunjukkan struktur CuI dan Na_3PO_4 . Regangan kisi kristal $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ stabil terhadap pengaruh dosis radiasi. Pengukuran konduktivitas konduktor padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ dilakukan dengan alat LCR-meter pada kisaran frekuensi 0,1 Hz hingga 100 kHz. Konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ setelah radiasi sinar- γ pada dosis 5 kGy sampai dengan 30 kGy naik sebanding dengan dosis radiasi.

Kata kunci : Konduktor ionik padat, Iradiasi gamma, Difraksi sinar-X, Konduktivitas

ABSTRACT

EFFECT OF γ - RAY IRRADIATION ON THE SOLID IONIC CONDUCTOR OF $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ MATERIAL ($x = 0.1$ and $x = 0.3$). Study on the effect of γ -ray irradiation on solid state conductor $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ have been done. The solid ionic conductor of $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ ($x = 0.1$ and $x = 0.3$) had been made by mixing CuI with Na_3PO_4 by formula of $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ where $x = 0.1$ and $x = 0.3$ then pressed with $48.26 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ into pellet in diametre $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$. The solid ionic conductor was then γ -ray irradiated with dose of 5 to 30 kGy. The result showed that the structure of $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ was CuI and Na_3PO_4 . Crystall lattice strain of $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ were measured stable against the influence of radiation. The conductivity measurement of $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ was carried out by LCR at the frequency of 0.1 Hz to 100 kHz. The results showed that the conductivities of $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ after irradiation were increasing with radiation dose.

Key words : Solid ionic conductor, γ -irradiation, X-ray diffraction, Conductivity

PENDAHULUAN

Konduktor ionik padat berbasis gelas telah berkembang sangat cepat. Hal ini dikarenakan beberapa sifat bahan gelas konduktor ionik yaitu memiliki konduktivitas yang tinggi pada suhu ruang [1].

Salah satu kegunaan bahan konduktor ionik padat adalah baterai termal yang berfungsi sebagai penyimpan sumber tenaga listrik. Salah satu bahan konduktor superionik adalah bahan konduktor ionik padat RbAgI memiliki keunggulan yang berfungsi sebagai baterai termal yang memiliki stabilitas termal dengan rentang suhu tinggi dan tahan terhadap perubahan suhu. Bahan konduktor ionik padat RbAgI telah digunakan sebagai bahan elektrolit padat untuk pembuatan sel baterai sekunder [2-4]

Telah dilakukan penelitian tentang gelas komposit superionik $(\text{AgI})_{0.7}(\text{NaPO}_3)_{0.3}$ yang telah dibuat dengan metode pelelehan dengan *dopant* AgI untuk menaikkan konduktivitas gelas NaPO_3 [5,7]. Peneliti lain juga telah melakukan peningkatan konduktivitas ionik yang berbasis gelas [8-12]. Telah dilakukan juga penelitian tentang dinamika dan transport ionik pada konduktor superionik [13,14]

Penelitian tentang bahan konduktor ionik padat, baik sebagai bahan untuk elektroda maupun bahan elektrolit padat akan dikembangkan dengan memakai bahan gelas $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dan CuI dengan perumusan $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$, dengan $x = 0,1$ dan $x = 0,3$. Dipilih fraksi berat $x = 0,1$ dan $x = 0,3$ dengan alasan, bila lebih

dari 0,5 maka sifat konduktivitas lebih dominan CuI dibandingkan Na_3PO_4 , dan diutamakan ion-ion yang bergerak adalah Na^+ .

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh iradiasi- γ pada bahan komposit $(\text{KI})_x(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$, diperoleh bahwa iradiasi- γ pada dosis tertentu dapat meningkatkan atau menurunkan konduktivitas bahan [15]. Iradiasi- γ dapat menimbulkan suatu cacat *Schotky* dan *Frenkel*, dimana cacat *Schotky* dapat meningkatkan konduktivitas bahan.

Pada penelitian ini bahan elektrolit padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ diberi perlakuan radiasi sinar- γ dengan dosis mulai 5 kGy sampai dengan 30 kGy. Dengan teknik perlakuan radiasi sinar- γ diharapkan dapat ditingkatkan konduktivitas pada konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$.

METODE PERCOBAAN

Pembuatan Gelas Na_3PO_4

Pembuatan gelas Na_3PO_4 diperlukan bahan sebagai berikut : NaNO_3 dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dengan perbandingan fraksi berat tertentu. Kedua bahan dicampurkan dan diaduk sampai merata lalu dipanaskan.

Pembuatan $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$

Konduktor ionik padat atau komposit $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ dibuat dengan mencampurkan bahan CuI dan Na_3PO_4 dengan perbandingan fraksi berat tertentu. Kemudian campuran tersebut digerus sampai halus, ditekan $48,26 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ menjadi pelet dengan diameter $1,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ dilanjutkan dengan iradiasi sinar- γ dengan laju dosis 5 kGy hingga 30 kGy.

Pengukuran Struktur Kristal

Pengamatan struktur kristal dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar-x. Perubahan struktur pada bahan konduktor ionik dapat diamati dari puncak difraksi yang menunjukkan kristal atau amorf. Dari data puncak difraksi ini dapat dihitung regangan kisi kristal $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ dengan mempergunakan Persamaan (1) [16]:

$$\beta(\cos \theta/\lambda) = 0,9/D + 2\eta(\sin \theta/\lambda) \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- β = Lebar setengah puncak difraksi (FWHM)
- θ = Sudut Bragg
- λ = Panjang gelombang sinar-x
- D = Ukuran butir
- η = Regangan

Dengan dibuat kurva antara $\beta \cos \theta / \lambda$ terhadap $\sin \theta / \lambda$ dapat dihitung regangan kisi kristal.

Pengukuran Konduktivitas

Pengukuran konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan LCR-meter HITESTER 3522-5 HIOKI. Dengan mengukur tahanan listrik sampel yang ditunjukkan Gambar 1, maka dapat dihitung besarnya konduktivitas listrik elektrolit padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ dengan memakai Persamaan (2) dan Persamaan (3) sebagai berikut :

$$R = \rho L/A \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma = 1/\rho \quad \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan 2 dan Persamaan 3 digabungkan maka didapatkan Persamaan (4) :

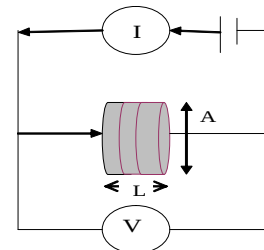
$$R = L/(A.\sigma) \text{ atau } \sigma = L/(A.R)$$

$$\sigma = G(L/A) \quad \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- R = Tahanan listrik bahan
- L = Panjang atau tebal bahan
- ρ = Resistivitas
- A = Luas permukaan dan
- σ = Konduktivitas
- $G = 1/R$ adalah konduktansi

Dalam percobaan yang terukur dengan alat LCR-meter adalah besaran G .



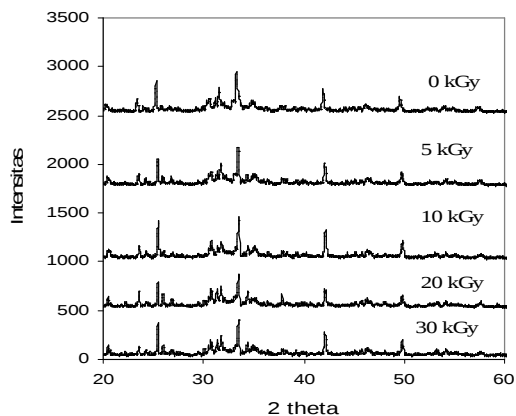
Gambar 1. Metode pengukuran konduktansi (G) bahan

Konduktivitas dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan $\sigma = \sigma_0 f^s$ diubah menjadi bentuk logaritma yaitu : $\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f$. Dengan membuat kurva antara $\log \sigma$ terhadap $\log f$, didapat nilai konduktivitas σ_0 . Dimana σ_0 adalah konduktivitas yang tidak tergantung pada frekuensi dan σ adalah konduktivitas hasil perhitungan yang tergantung frekuensi. s adalah faktor eksponen ($0 < s < 1$).

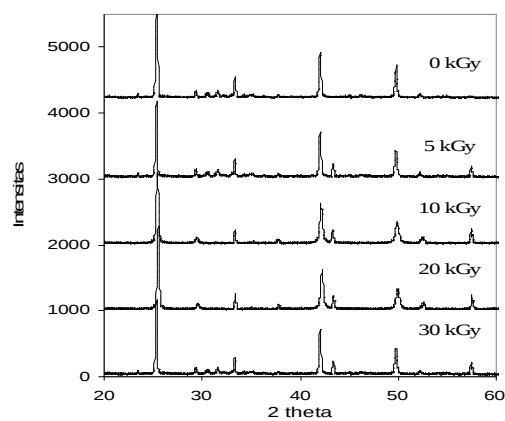
HASIL DAN PEMBAHASAN

Difraksi Sinar-X

Puncak difraksi sinar-X konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 sebelum dan setelah di iradiasi sinar- γ dengan dosis berturut-turut 5 kGy, 15 kGy, 20 kGy dan 30 kGy.



Gambar 2. Puncak difraksi komposit $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$



Gambar 3. Puncak difraksi komposit $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$

Analisis pada pola difraksi sinar-X dari bahan-bahan diatas menunjukkan bahwa puncak yang muncul adalah puncak-puncak CuI dan Na_3PO_4 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Analisis puncak-puncak difraksi komposit $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$

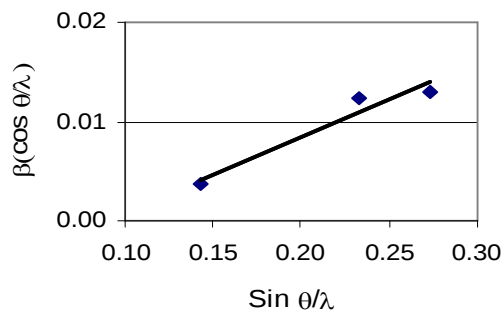
2 θ	Puncak
23,67	Na_3PO_4
25,45	CuI
30,91	Na_3PO_4
33,51	CuI
42,31	CuI
49,93	CuI

Tabel 2. Analisis puncak-puncak difraksi komposit $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$

2 θ	Puncak
25,45	CuI
29,51	Na_3PO_4
30,91	Na_3PO_4
33,51	CuI
42,31	CuI
49,93	CuI
57,61	Na_3PO_4

Dari keseluruhan analisis puncak-puncak difraksi sinar-X pada $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$,

terlihat bahwa sampai dosis iradiasi 30 kGy struktur kristal merupakan CuI dan Na_3PO_4 dan fasa cenderung masih stabil sebagai fasa campuran antara fasa CuI dan Na_3PO_4 .



Gambar 4. Kurva $\beta(\cos \theta/\lambda)$ terhadap $\sin(\theta/\lambda)$ untuk menentukan regangan kisi kristal.

Untuk menghitung regangan kisi, dibuat kurva antara $\beta(\cos \theta/\lambda)$ terhadap $\sin(\theta/\lambda)$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil perhitungan untuk seluruh cuplikan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan regangan kisi $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$

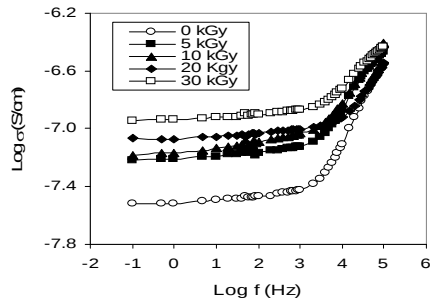
Bahan	Dosis(kGy)	η
$(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$	5	0,0247
	10	0,0251
	20	0,0376
	30	0,0344
$(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$	5	0,0243
	10	0,0546
	20	0,0720
	30	0,0643

Dari tabel terlihat bahwa regangan kisi cenderung meningkat sampai dosis radiasi 20 kGy dan selanjutnya menurun.

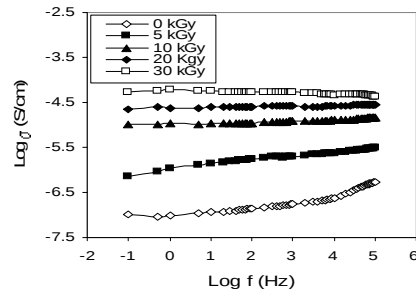
Konduktivitas

Pengukuran konduktivitas konduktor ionik $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ pada frekuensi antara 0,1 Hz hingga 100 kHz ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Pada Gambar 5, ditunjukkan konduktivitas konduktor ionik $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ sebelum perlakuan iradiasi- γ , dan sesudah iradiasi dengan dosis radiasi- γ 5 kGy, 10 kGy, 20 kGy dan 30 kGy. Begitu juga pengukuran konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ ditunjukkan pada Gambar 6.

Analisis konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ dipergunakan model $\sigma = \sigma_o f^s$ yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [17,18]. Hasil perhitungan nilai konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 5. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$



Gambar 6. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$

Pada Tabel 4 dan Tabel 5 ditunjukkan konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ yang mempunyai nilai konduktivitas naik terhadap laju dosis iradiasi- γ baik pada daerah frekuensi pertama maupun kedua.

Tabel 4. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$

Dosis (kGy)	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
0	$1,008 \times 10^{-7}$	$5,743 \times 10^{-10}$
5	$6,214 \times 10^{-8}$	$3,261 \times 10^{-9}$
10	$6,831 \times 10^{-8}$	$4,349 \times 10^{-9}$
20	$8,558 \times 10^{-8}$	$8,734 \times 10^{-9}$
30	$1,153 \times 10^{-7}$	$1,559 \times 10^{-8}$

Tabel 5. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$

Dosis (kGy)	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
0	$1,008 \times 10^{-7}$	$1,377 \times 10^{-8}$
5	$1,043 \times 10^{-6}$	$9,477 \times 10^{-7}$
10	$1,035 \times 10^{-5}$	$7,700 \times 10^{-6}$
20	$2,378 \times 10^{-5}$	$1,887 \times 10^{-5}$
30	$5,622 \times 10^{-5}$	$6,297 \times 10^{-5}$

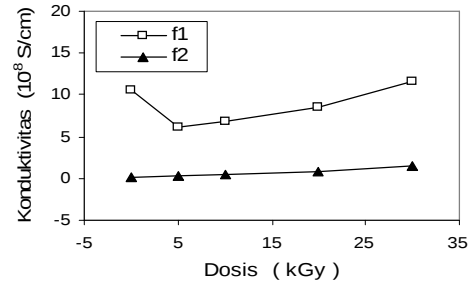
Keterangan :

σ_{01} , σ_{02} adalah konduktivitas pada daerah frekuensi pertama (0,1 Hz sampai 100 Hz) dan kedua (200 Hz sampai 100 kHz)

Dosis Radiasi Terhadap Konduktivitas

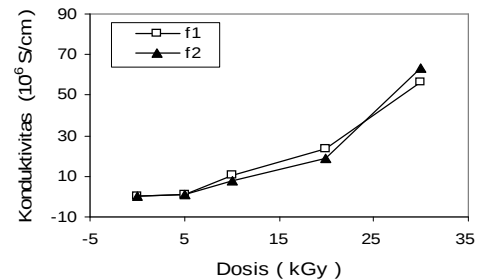
Hubungan kurva antara laju dosis dan konduktivitas, ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Pada Gambar 7, terlihat bahwa konduktivitas stabil pada dosis 0 kGy sampai dengan 30 kGy pada daerah frekuensi kedua, sedangkan pada dosis 0 kGy hingga 30 kGy konduktivitas naik pada daerah frekuensi pertama.

Gambar 7, adalah kurva hubungan konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ terhadap dosis iradiasi- γ . Pada Gambar 7 konduktivitas naik terhadap pengaruh iradiasi- γ pada daerah frekuensi pertama (0,1 Hz sampai 100 Hz), sedangkan pada daerah frekuensi kedua (200 Hz sampai 100 kHz) konduktivitasnya tetap.



Gambar 7. Hubungan antara dosis radiasi terhadap konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$

Gambar 8, adalah hubungan kurva konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$ terhadap dosis iradiasi- γ . Dari kurva tersebut terlihat konduktivitasnya naik terhadap laju dosis iradiasi sinar- γ baik pada daerah frekuensi pertama maupun kedua. Dari kedua konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{1-x}$ yang memiliki konduktivitas yang baik yaitu konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$.



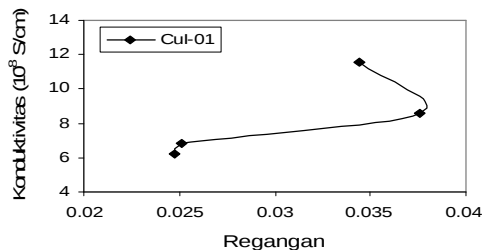
Gambar 8. Hubungan antara dosis radiasi terhadap konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$

Regangan Kisi Terhadap Konduktivitas

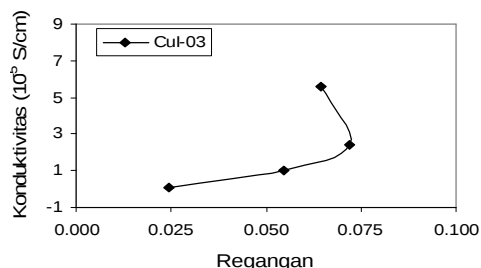
Hubungan kurva antara regangan kisi dan konduktivitas bahan konduktor ionik $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$, ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Pada Gambar 9, terlihat bahwa regangan stabil terhadap pengaruh iradiasi yang diikuti kenaikan konduktivitas pada daerah frekuensi pertama dan kedua. Sedangkan pada Gambar 10, terlihat regangan kisi ada perubahan yang diikuti kenaikan konduktivitas pada daerah frekuensi pertama dan kedua.

Gambar 9 dan Gambar 10, adalah kurva hubungan regangan kisi terhadap konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0,1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,9}$ dan $(\text{CuI})_{0,3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,7}$. Pada

Gambar 9 dan Gambar 10 konduktivitas konduktor ionik padat naik dengan naiknya regangan kisi.



Gambar 9. Hubungan antara regangan kisi terhadap konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0.1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.9}$



Gambar 10. Hubungan antara regangan kisi terhadap konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0.3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.7}$

KESIMPULAN

Konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0.1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.9}$ dan $(\text{CuI})_{0.3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.7}$ telah dapat dibuat. Puncak-puncak difraksi sinar-x pada konduktor ionik padat adalah puncak CuI dan Na_3PO_4 . Regangan kisi $(\text{CuI})_{0.1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.9}$ dan $(\text{CuI})_{0.3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.7}$ stabil terhadap laju dosis radiasi sinar- γ . Konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0.1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.9}$ tidak dipengaruhi frekuensi, sedangkan pada frekuensi diatas 200 Hz konduktivitasnya naik. Sedangkan konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0.3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.7}$ datar terhadap frekuensi. Konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_{0.1}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.9}$ dan $(\text{CuI})_{0.3}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0.7}$ setelah radiasi sinar- γ pada dosis 5k Gy hingga 30 kGy naik terhadap laju dosis radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada staf PTBIN atas kerja sama dan selesainya penelitian yang telah kami lakukan. Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Y. Sarwanto dan staf P3TIR yang telah membantu dalam pemakaian alat difraksi sinar-X dan Penggunaan iradiasi- γ . Serta Kepala BKAN Dr. S. Purwanto yang telah memberikan saran dan komentar.

DAFTAR ACUAN

- [1]. T. MINAMI, *J. Non Cryst Solid*, **95 & 96**, (1987) 107
- [2]. M.Z.A. MUNSHI, *Handbook of Solid State Batteries and Capacitor*, Word Scientific, Singapura, (1995) 111-129
- [3]. S. CHANDRA, *Superionic Solid Principle and Application*, North-Holland Publishing Co, Amsterdam, (1981) 17-28
- [4]. N. EFFENDI, A.K. JAHYA dan S. PURNAMA, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **1** (2000) 26-31
- [5]. E. KARTINI, S. YUSUF, T. PRIYANTO, N. INDYANINGSIH dan M.F. COLLINS, *Majalah BATAN. XXXIV* (2001) 1-14
- [6]. M.F. COLLINS and E. KARTINI, *Solid State Ionics*, **1** (2003) 157-174
- [7]. E. KARTINI and M.F. COLLINS, *Physica-B*, **213** (2000) 276-278
- [8]. T. SAITO, M. TATSUMISAGO, N. T. ORATA and T. MINAMI, *Solid State Ionics*, **79** (1995) 279-283.
- [9]. J. KAWAMURA, S. HIYAMA, *Solid State Ionics*, **56** (1992) 1227-1231
- [10]. T. SAITO, M. TATSUMISAGO and T. MINAMI, *Solid State Ionics*, **61** (1993) 285-291
- [11]. K. WAKAMURA, J. KATOOGI and H. TAKAHASHI, *Physc B: Condensed Matter*, **263-264**, (1999) 799-802
- [12]. A. THAZIM, Y. FUJISHIMA, M. ARAI and H. TAKAHASHI, *Solid State Ionics*, **175** (2004) 675-677
- [13]. M. ANIYA and F. SHIMOJO, *Solid State Ionics*, **176** (2005) 2481-2486
- [14]. M. ANIYA and K. WAKAMURA, *Physc B: Condensed Matter*, **219-220** (1996) 463-465
- [15]. P. PURWANTO dan SAFEI PURNAMA, *J Metris*, **7** (2006) 104-109
- [16]. H.P. KLUG and L.E. ALEXANDER, *X-Ray Diffraction Procedures*, John Wiley, New York, (1954) 755-786
- [17]. A.K. JONSCHER, *Nature*, **261** (1977) 673- 676
- [18]. W.K. LEE, J.F. LIU and A.S. NOWICK, *Physc Rev Lett.*, **67** (1991) 1559-1561